

⑤ Int. Cl. ³ = Int. Cl. ²

Int. Cl. ²:

H 01 L 21/98

H 01 L 25/16

⑯ **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**



5
DE 29 02 002 A 1

⑪

Offenlegungsschrift 29 02 002

⑫

Aktenzeichen: P 29 02 002.8

⑬

Anmeldetag: 19. 1. 79

⑭

Offenlegungstag: 31. 7. 80

⑳

Unionspriorität:

⑳ ㉑ ㉒

⑤4

Bezeichnung: Dreidimensional integrierte elektronische Schaltungen

⑦1

Anmelder: Krause, Gerhard, 8200 Rosenheim

⑦2

Erfinder: gleich Anmelder

DE 29 02 002 A 1

Patentansprüche

1. Dreidimensionale integrierte Schaltung, dadurch gekennzeichnet, daß mehr als eine Scheibe mit integrierten Schaltungen ungefähr senkrecht zu den Ebenen der großen Scheibenoberflächen übereinander gestapelt sind und daß der Abstand zwischen den Scheiben viel kleiner als der Durchmesser der Scheiben ist und daß die Scheiben über Energieübertragungsstrecken und/oder Signalübertragungsstrecken miteinander verbunden sind.
2. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen den Scheiben kleiner als $30\mu\text{m}$ bevorzugt kleiner als $3\mu\text{m}$ ist.
3. Integrierte Schaltung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Scheiben kleiner als $50\mu\text{m}$ bevorzugt kleiner als $10\mu\text{m}$ ist.
4. Integrierte Schaltung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Scheiben kleiner als $2\mu\text{m}$ ist.
5. Integrierte Schaltung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Scheiben so dünn sind, daß die einzelnen in die Scheiben integrierten Bauelemente von einer großen Oberfläche zur gegenüberliegenden großen Oberfläche reichen.
6. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß elektrisch leitende Verbindungen jeweils zwischen der Oberseite einer Scheibe und der Unterseite der darüber angeordneten Scheibe angeordnet sind.
7. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß elektrisch leitende Verbindungen an den Außenseiten des Scheibenstapels angeordnet sind und daß diese Verbindungen mit den Scheiben mechanisch fest verbunden sind.
8. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in den Scheiben Löcher angeordnet sind und daß in oder an den Löchern die Kontakte angeordnet sind und daß die Lochachsen vieler übereinanderangeordneter Scheiben auf einer Geraden liegen und daß die so geschaffenen Lochkanäle mit leitendem kontaktierendem Material gefüllt sind.

9. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine dünne Schicht aus leitendem kontaktierenden Material zwischen den Scheiben angeordnet ist und daß diese Schicht im wesentlichen homogen ist und daß an den Oberseiten und Unterseiten der Scheiben Kontakte angeordnet sind.
10. Integrierte Schaltung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitfähigkeit der Schicht aus leitendem kontaktierenden Material senkrecht zur Schichtebene mindestens doppelt so groß wie parallel zur Schichtebene ist.
11. Integrierte Schaltung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das leitende kontaktierende Material mit ferromagnetischen Teilchen gefüllt ist und daß das leitende kontaktierende Material beim Erstarren des Materials in einem technischen Magnetfeld angeordnet wird und daß die ferromagnetischen Teilchen bevorzugt mit einem Kontaktwerkstoff überzogen sind.
12. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß voneinander isolierte Flecken aus leitenden kontaktierenden Material zwischen den Scheiben angeordnet sind.
13. Integrierte Schaltung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der Flecken viel größer als die Anzahl der Kontakte auf den Scheiben ist und daß die Flecken nicht nach den Kontakten justiert sind und daß der Abstand zwischen den Flecken kleiner als die Abmessungen der Kontakte in der jeweiligen Raumrichtung ist und daß die Abmessungen der Flecken kleiner als der Abstand der Kontakte in der jeweiligen Raumrichtung ist.
14. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontakte auf den Scheiben erhöht angeordnet sind und daß zwischen den Scheiben ein Material angeordnet ist dessen Leitfähigkeit druckabhängig ist und daß dieses Material bevorzugt ein elastischer Kautschuk oder ein elastischer Kunststoff ist.
15. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontakte auf den Scheiben erhöht angeordnet sind und daß die Kontakte mit einem leitendem kontaktierenden Material überzogen sind.
16. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontakte in Vertiefungen der Scheibe angeordnet sind und daß die Vertiefungen mit

leitendem kontaktierenden Material gefüllt sind und daß sich nach dem Stapeln der Scheiben das kontaktierende Material übereinander angeordneter Vertiefungen vereinigt.

17. Integrierte Schaltung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß ein Treibgas oder ein Treibgas erzeugendes Material in den Vertiefungen angeordnet ist.
18. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Energie und/oder die Signale zwischen den Scheiben kapazitiv oder induktiv übertragen werden.
19. Integrierte Schaltung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß eine Schicht mit großer Dielektrizitätskonstante, insbesondere eine Schicht aus ferroelektrischem Material, zwischen den Scheiben angeordnet ist.
20. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Signale über eine optische Signalübertragungsstrecke zwischen den Scheiben übertragen werden.
21. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontakte aufgeraut sind und daß die Rauhtiefe vorzugsweise größer als $1\mu\text{m}$ ist.
22. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß auf oder zwischen den Kontakten Whiskers oder Dendriten oder Fasern aus leitendem Material angeordnet sind.
23. Integrierte Schaltung nach den Ansprüchen 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Scheiben eine dünne Schicht aus nichtleitendem Material angeordnet ist die die Scheiben mechanisch verbindet.
24. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Scheiben Halbleiterscheiben sind und daß in diesen Halbleiterscheiben monolithisch integrierte Schaltungen angeordnet sind.
25. Integrierte Schaltung wahlweise nach den Ansprüchen 8, 9, 12, 15, 16, dadurch gekennzeichnet, daß das leitende kontaktierende Material leitender Klebstoff oder leitender thermoplastischer Kunststoff oder leitender chemoplastischer

Kunststoff oder leitender elastischer Kunststoff oder ein leitender kautschukartiger Stoff ist.

26. Integrierte Schaltung wahlweise nach den Ansprüchen 8, 9, 12, 15, 16, dadurch gekennzeichnet, daß das leitende kontaktierende Material ein einkristalliner Halbleiter oder ein polykristalliner Halbleiter oder ein organischer Halbleiter oder ein leitendes Glas oder eine leitende Keramik oder ein leitendes Cermet ist.
27. Integrierte Schaltung wahlweise nach den Ansprüchen 8, 12, 15, 16, dadurch gekennzeichnet, daß das leitende kontaktierende Material ein Metall ist.
28. Integrierte Schaltung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Flecken aus leitendem kontaktierendem Material in einer Trägerschicht aus nichtleitendem Material eingelagert sind.
29. Integrierte Schaltung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß Scheiben an den Unterbrechungsstellen der Leiterbahnen über den Rand des Scheibenstapels hinausreichen oder daß an den Unterbrechungsstellen der Leiterbahnen Vertiefungen im Rand des Scheibenstapels vorhanden sind.
30. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Schicht aus nichtleitendem Material mit einer Dicke von kleiner als 10nm zwischen den Kontakten angeordnet ist.
31. Verfahren zur Herstellung einer integrierten Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Zusammenfügen der einzelnen Scheiben zu einem Stapel auf oder unter oder in die Kontakte ein Dotierungsstoff oder ein mit der Zwischenschicht zwischen den Scheiben chemisch reagierender Stoff eingebracht wird.
32. Verfahren zur Herstellung einer integrierten Schaltung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß leitendes kontaktierendes Material aus nichtleitendem Material hergestellt wird, indem in nichtleitendes Material Atome oder Moleküle oder makroskopische Partikel lokal hineingeschossen oder hineingedrückt oder eindiffundiert werden.

33. Verfahren zur Herstellung einer integrierten Schaltung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß leitendes kontaktierendes Material aus nichtleitendem Material hergestellt wird, indem das nichtleitende Material mit leitenden Partikeln gefüllt wird und die Partikeldichte lokal durch magnetische oder elektrische Felder vergrößert wird.
34. Verfahren zur Herstellung einer integrierten Schaltung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß leitendes kontaktierendes strahlungsempfindliches Material lokal bestrahlt wird und daß das Material an den Stellen entfernt wird wo keine Kontaktierung erfolgen soll oder wo eine Unterbrechung erforderlich ist.
35. Verfahren zur Herstellung einer integrierten Schaltung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß aus einer homogenen Schicht aus leitendem kontaktierendem Material mittels Prägen, Sägen, Schleifen, Sandstrahlen, Ionenstrahlen oder chemischer Reaktion das Material an den Orten selektiv entfernt wird wo keine Kontaktierung erfolgen soll oder wo eine Unterbrechung erforderlich ist.
36. Verfahren zur Herstellung einer integrierten Schaltung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß nichtleitendes Material lokal durch elektrische Durchschläge oder Entladungen oder durch Erhitzen irreversibel leitend gemacht wird.
37. Verfahren zur Herstellung einer integrierten Schaltung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß lokal chemische Prozesse ein nichtleitendes Material in ein leitendes Material umwandeln.
38. Verfahren zur Herstellung einer integrierten Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Scheiben mittels einer epitaktischen Zwischenschicht zusammenwachsen, wobei die Epitaxieschicht bevorzugt aus dem gleichen Material wie die Scheiben bestehen (Homoepitaxie).
39. Verfahren nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, daß während des Wachsens der Epitaxieschicht auf der Scheibenoberfläche ein Temperaturgradient parallel zur Scheibenoberfläche vorhanden ist.

030031/0159

BAD ORIGINAL

40. Verfahren nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Scheiben ortsabhängig ist.
41. Verfahren nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, daß bei Verbindungshalbleitern auf die Scheibenoberfläche ein Überschuß der einen bzw. anderen Komponente gebracht wird und daß Scheiben mit verschiedenen Komponenten auf ihren Oberflächen mit ihren Oberflächen zusammengepreßt werden und dabei erhitzt werden.
42. Verfahren nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen die Scheiben ein Lösungsmittel gebracht wird und daß danach die Scheiben zusammengepreßt werden.
43. Verfahren nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, daß die einkristalline Oberfläche der Scheiben amorph gemacht wird und daß danach die Scheiben unter Hitzeanwendung zusammengepreßt werden.
44. Verfahren wahlweise nach den Ansprüchen 38-43, dadurch gekennzeichnet, daß nur in der Umgebung der Kontakte die Scheiben mittels einer Epitaxieschicht zusammenwachsen.
45. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitfähigkeit der Schicht zwischen den Scheiben durch Injektion von beweglichen Ladungsträgern vergrößert wird.
46. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitfähigkeit der Schicht zwischen den Scheiben durch elektrische Felder an den Orten an denen die Kontakte angeordnet sind vergrößert wird.
47. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitfähigkeit der Schicht zwischen den Scheiben an den Orten an denen keine Kontakte angeordnet sind durch elektrische Felder verkleinert wird oder daß der Leitfähigkeitstyp dieser Schicht an diesen Orten invertiert wird.
48. Integrierte Schaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das leitende kontaktierende Material bei Bestrahlung mit optischer Strahlung oder Röntgenstrahlung oder Korpuskularstrahlung seine mechanischen Abmessungen ändert und daß die Scheiben 1 mit diesem Material beschichtet werden und daß dieses

Material räumlich selektiv mit optischer Strahlung oder Röntgenstrahlung
oder Korpuskularstrahlung bestrahlt wird.

Gerhard Krause
Wachtelweg 26e
8200 Rosenheim/Egarten

20.11.1978

Dreidimensional integrierte elektronische Schaltungen.

Die Erfindung betrifft dreidimensional integrierte elektronische Schaltungen, insbesondere monolithisch integrierte Halbleiterschaltungen mit sehr großer räumlicher Dichte der Anzahl der aktiven bzw. speichernden Bauelemente.

Bei den bekannten Halbleiterschaltungen, bei denen eine große Anzahl von aktiven Bauelementen auf einer Halbleiterscheibe integriert sind, sind die Bauelemente im wesentlichen in einer Schichtebene in der Nähe der Halbleiteroberfläche angeordnet. Es handelt sich hier um eine zweidimensional integrierte Schaltung. Insbesondere für elektronische Speicher besteht der Bedarf die Integrationsdichte um mehrere Zehnerpotenzen zu steigern. Der konventionelle Weg hierzu ist, die Abmessungen der Bauelemente auf der Halbleiterscheibe zu verkleinern und somit die Flächendichte der Anzahl der Bauelemente zu vergrößern. Es wurden auch bereits vom Verfasser Vorschläge gemacht, die Bauelemente monolithisch in drei Dimensionen zu integrieren. Jedoch ist es bisher nicht gelungen während des Kristallwachstums Bauelemente und Verbindungsleitungen mit großer Integrationsdichte in den Kristall einzubauen.

Nachfolgend werden dreidimensionale integrierte Schaltungen beschrieben, die mit den verfügbaren Technologien realisierbar sind. Hierzu werden erfindungsgemäß mehrere Scheiben mit integrierten Schaltungen senkrecht zur großen Scheibenoberflächenebene übereinander gestapelt, wobei der Abstand zwischen den Scheiben viel kleiner als der Durchmesser der Scheiben ist und die Scheiben über Energieübertragungstrecken und/oder Signalübertragungstrecken miteinander verbunden sind. Mit integrierte Bauelemente werden hier Anordnungen bezeichnet, bei denen auf bzw. in einer Scheibe viele aktive bzw. speichernde Bauelemente durch monolithische Integration, Aufdampfen, Aufstäuben, Molekularstrahlen, Ionenimplantation, Epitaxie oder durch chemisches bzw. elektrolytisches Niederschlagen hergestellt sind. Die Bauelemente können Halbleiterbauelemente, Supraleitungsbauelemente oder magnetische Bauelemente sein.

Weitere Merkmale und Einzelheiten der Erfindung werden nachfolgend anhand von Beispielen und Figuren beschrieben. Es zeigt:

- Fig. 1 Eine Anordnung bei der zwischen den Scheiben eine dünne Schicht eines leitenden kontaktierenden Materials, z.B. leitender Klebstoff, angeordnet ist.
- Fig. 2 Eine Anordnung bei der das leitende kontaktierende Material in einer Vertiefung der Scheiben angeordnet ist.
- Fig. 3 Eine Anordnung bei der die elektrische Verbindung zwischen den Scheiben durch eine große Anzahl leitender Flecken hergestellt wird. Die Flecken brauchen nicht relativ zu den Kontakten justiert werden.
- Fig. 4 Eine Anordnung bei der die Kontakte erhöht auf den Scheiben angeordnet sind und bei der die Kontaktierung durch ein leitendes elastisches Material erfolgt, dessen Leitfähigkeit druckabhängig ist.
- Fig. 5 Eine Anordnung bei der die Scheiben durchlocht sind und bei der die Kontaktbahnen innerhalb der Löcher angeordnet sind.
- Fig. 6 Eine Anordnung bei der die elektrischen Verbindungen an den Schmalseiten der Scheiben angeordnet sind.
- Fig. 7 Eine Anordnung bei der die Halbleiterzwischenschicht 3 zwischen den Halbleiterscheiben 1 durch Injektion von beweglichen Ladungsträgern leitend gemacht wird.
- Fig. 8 Eine Anordnung bei der die Leitfähigkeit der Halbleiterzwischenschicht 3 durch elektrische Felder im gewünschten Sinne beeinflusst wird.

Zu beachten ist, daß die Figuren 1, 2, 3, 4 - um die wesentlichen Merkmale besser zeichnen zu können - die Anordnungen vor dem Zusammenpressen der Scheibenstapel zeigen. Weiterhin sind in den Figuren nur zwei bis fünf Scheiben übereinander angeordnet. In der Regel werden aber sehr viele Scheiben übereinander angeordnet werden.

Die Fig. 1 zeigt eine Anordnung bei der die Scheiben 1 - z.B. Halbleiterscheiben in der die Bauelemente monolithisch integriert sind - mit den Kontakten 2 durch eine Schicht aus leitendem Klebstoff 3 miteinander elektrisch und mechanisch verbunden werden. Die Fig. 1 zeigt die Anordnung vor dem Zusammenpressen des Scheibenstapels. Außerdem ist es praktisch nicht möglich die Anordnung maßstäblich zu zeichnen. Die Scheiben haben einen Durchmesser von z.B. 1 mm bis 50 mm. Die Dicke der Scheiben ist z.B. maximal 0,5 mm. Sie wird aber in der Regel kleiner als $50\mu\text{m}$, vorzugsweise kleiner als $10\mu\text{m}$ sein. Die Scheibendicke kann, wenn besonders große Packungsdichten gefordert werden, kleiner als $2\mu\text{m}$ sein. Die leitende Klebstoffschicht 3 ist nach dem Zusammenpressen und Aushärten so dünn, daß der Widerstand zwischen benachbarten Kontakten verschiedener Scheiben viel kleiner ist, als der Widerstand zwischen benachbarten Kontakten auf einer Scheibe. Es tritt bei der Anordnung nach Fig. 1 zwar ein Übersprechen zwischen verschiedenen Signalbahnen auf, dieses Übersprechen ist aber aufgrund der Spannungsteilung in der Klebstoffschicht und der niedrigen Impedanzen der Signalquellen bzw. Signalsenken vernachlässigbar klein. Zudem können noch mit Masse verbundene Abschirmleiterbahnen zur Verringerung des Übersprechens zwischen benachbarte Kontakte einer Scheibe eingefügt werden. Der Abstand zwischen den Scheiben und damit die Dicke der Klebstoffschicht 3 ist nach dem Zusammenpressen in der Regel kleiner als $30\mu\text{m}$, vorzugsweise sogar kleiner als $3\mu\text{m}$. Dagegen wird der Abstand der Kontakte auf einer Scheibe meistens größer als $50\mu\text{m}$ sein. Der Vorteil der Anordnung nach Fig. 1 ist, daß die Kontaktierung vieler Kontakte ohne präzises Justieren der Scheiben möglich ist und somit mit geringen Kosten und guter Ausbeute in einem Massenproduktionsprozeß erfolgen kann. Nicht gezeichnet in Fig. 1 sind die in bzw. auf den Scheiben integrierten Bauelemente und elektrischen Verbindungen, sowie die der Oberflächenpassivierung und Isolierung dienenden Oberflächenschichten, die z.B. aus SiO_2 bestehen.

Die Scheiben 1 in Fig. 1 sind durchzogen von nichtgezeichneten Kontaktbahnen von den Bauelementen an der einen großen Oberfläche zu den Kontakten 2 auf der gegenüberliegenden großen Oberfläche. Diese Kontaktbahnen können z.B. durch Thermomigration oder Diffusion hergestellt werden. Es ist vorteilhaft die Packungsdichte der Bauelemente dadurch zu erhöhen, daß die Bauelemente sowohl an der oberen als auf an der unteren großen Oberfläche angeordnet werden. Bei sehr dünnen Scheiben können die einzelnen Bauelemente auch von der oberen bis zur unteren großen Oberfläche der Scheibe reichen.

Der leitende Klebstoff in Fig. 1 kann durch andere leitende Materialien ersetzt werden. Geeignet sind vorallem: leitender Kunststoff, insbesondere chemoplastischer oder thermoplastischer; leitende elastische Kunststoffe, insbesondere Schaumstoffe; leitende kautschukartige Stoffe; Halbleiter; einschließlich polykristalline und organische Halbleiter; leitende Gläser, insbesondere Gläser mit niedriger Schmelztemperatur; leitende Keramiken, die insbesondere vor dem Brennen auf die Scheibe aufgetragen werden; leitende Cermets. Die aufgezählten leitenden kontaktierenden Materialien werden in der Regel durch Behandlung mit Wärme, Lösungsmitteln oder Chemikalien in festen mechanischen Kontakt mit den Scheiben 1 gebracht. Bei den elastischen Kunststoffen und kautschukartigen Stoffen genügt es die Schichten zwischen den Scheiben 1 anzuordnen und den Scheibenstapel zusammenzupressen.

Das unerwünschte Übersprechen zwischen den verschiedenen Signalwegen kann erheblich verringert werden, wenn die leitende kontaktierende Schicht 3 in Fig. 1 aus einem Material mit anisotroper Leitfähigkeit besteht, so daß die Leitfähigkeit senkrecht zur Leitschichtebene größer als parallel zu dieser Ebene ist. Die Anisotropie kann z.B. realisiert werden, indem in ein nicht oder nur wenig leitendes Material (z.B. Klebstoff) viele kleine längliche, insbesondere nadel-förmige ferromagnetische Partikel eingebettet sind. Während des Aushärtens dieses Materials in dem die ferromagnetischen Nadeln angeordnet sind wird der Scheibenstapel in einem technischen Magnetfeld angeordnet, in dem die Feldlinien etwa senkrecht zu den Schichtebenen verlaufen. Um die Leitfähigkeit zu erhöhen und die Kontakte zwischen den Partikel zu verbessern kann die Oberfläche der ferromagnetischen Partikel von einem Kontaktwerkstoff, insbesondere von Silber oder einem Edelmetall überzogen sein.

Die Fig. 2 zeigt eine Anordnung bei der das leitende kontaktierende Material nicht als homogene Schicht, sondern in Form von Inseln 4 zwischen den Scheiben 1 angeordnet ist. Grundsätzlich kann das lokale Aufbringen des leitenden kontaktierenden Materials mit Verfahren ähnlich denen der Druckereitechnik erfolgen. Es ist jedoch vorteilhaft die in Fig. 2 gezeigte Anordnung zu verwenden, bei der zur Lokalisierung des leitenden kontaktierenden Materials 4 Vertiefungen 7 - in denen sich die Kontakte 2 befinden - in den Scheiben 1 angeordnet sind. Die Scheibe kann z.B. mit leitenden Klebstoff relativ dick bestrichen werden. Dabei füllen sich die Vertiefungen 7 mit dem Klebstoff. Anschließend wird der Klebstoff von der Scheibe heruntergewischt. Durch die Oberflächenspannung des Klebstoffes bleibt aber auch nach dem Herunterwischen eine Erhebung von Klebstoff 4

über den Kontaktlöchern 7 stehen. Werden jetzt die Scheiben zusammengepresst, dann vereinigen sich die in den gegenüberliegenden Kontaktlöchern befindlichen Klebstoffe. Der Vorgang des Vereinigens kann unterstützt werden, wenn während des Zusammenpressens der Scheibenstapel erhitzt wird und sich dadurch der Klebstoff ausdehnt oder zu fließen beginnt oder wenn sich ein Treibmittel (insbesondere ein Treibgas) ausdehnt bzw. gebildet wird. Das Treibmittel bzw. der das Treibmittel erzeugende Stoff wird in den Kontaktlöchern 7 oder im leitenden kontaktierenden Material 4 angeordnet. Weitere Kräfte, die die Vereinigung des leitenden kontaktierenden Materials benachbarter Scheiben bewirken können, sind Zentrifugalkräfte oder magnetische Kräfte auf in dem leitenden kontaktierenden Material 4 eingebettete ferromagnetische Partikel. Die Anwendung der oben aufgeführten Zusatzkräfte ist auch bei Anordnungen vorteilhaft bei denen das leitende kontaktierende Material nicht in Löchern angeordnet ist. Statt leitendem Klebstoff können auch hier wieder die bei der Beschreibung der Fig. 1 aufgezählten leitenden kontaktierenden Materialien verwendet werden. In der Fig. 2 sind als Beispiel auch einige Bauelemente 5 und verbindende Leitungen 6 eingezeichnet.

Bei der Anordnung nach Fig. 3 wird das zur Kontaktierung dienende leitende Material 3 (z.B. leitender Kautschuk oder leitender Klebstoff, thermoplastischer Kunststoff oder eines der bei der Beschreibung von Fig. 1 aufgezählten leitenden Materialien), in Form von vielen kleinen Flecken 3 zwischen den Scheiben 1 angeordnet. Die Anzahl der Flecken ist vorzugsweise viel größer als die Anzahl der zu kontaktierenden Kontakte 2. Der Abstand zwischen den Flecken 3 in einer vorgegebenen Raumrichtung ist kleiner als die Länge der Kontakte 2 in dieser Raumrichtung. Die Länge der Flecken 3 in einer vorgegebenen Raumrichtung ist kleiner als der Abstand der Kontakte 2 in dieser Richtung. Damit ist gewährleistet, daß immer mindestens ein Fleck die Kontaktierung zwischen benachbarten Kontakten von verschiedenen Scheiben übernimmt, ohne daß unerwünschte Verbindungen auftreten können. Der Vorteil der Anordnung ist, daß die Flecken 3 nicht relativ zu den Kontakten justiert zu werden brauchen, gleichgültig ob die Flecken 3 in einem regelmäßigen Muster oder statistisch verteilt angeordnet sind. Die Flecken 3 können z.B. mittels einer Maske oder eines Stempels auf die Scheibe 1 aufgebracht werden. Bei der Anordnung nach Fig. 3 wird die Montage dadurch erleichtert, daß die leitenden Flecken 3 in einer Trägerschicht 8 aus nichtleitendem Material (z.B. thermoplastischer Kunststoff) eingelagert sind. Diese Trägerschicht 8 kann unabhängig von der Scheibe 1 gefertigt werden und wird

während der Montage zwischen je zwei Scheiben 1 gelegt und, bei dem gewählten Beispiel mit einer Trägerschicht aus thermoplastischen Kunststoff, bei Zusammenpressen des Scheibenstapels erhitzt, wodurch sich der thermoplastische Kunststoff mechanisch mit den Scheiben 1 verbindet.

Unabhängig davon, ob eine Justierung von Flecken aus leitendem kontaktierendem Material nach den Kontakten 2 erfolgt oder ob nur viele unjustierte Flecken angeordnet werden, können die leitenden kontaktierenden Flecken nach einem der nachfolgend beschriebenen Verfahren hergestellt werden:

- a.) In nichtleitendes Material werden kleine Partikel (Atome, Moleküle, kleine leitende makroskopische Partikel) implantiert (hereingeschossen), hereingedrückt oder eindiffundiert. Von besonderem Interesse ist hier ein Verfahren, bei dem die Scheiben 1 mit einem nichtleitendem Material (z.B. Kunststoff) im flüssigen, plastischen oder pulverförmigen Zustand beschichtet werden. In dieses Material werden dann leitende Partikel mit einem Durchmesser von ungefähr $1\mu\text{m}$ lokal selektiv hineingeschossen oder hereingedrückt. Die so beschichteten Scheiben werden dann gestapelt und die isolierende Schicht wird (z.B. durch Wärme) ausgehärtet. Zum Hereindrücken bzw. Eindiffundieren genügt es, wenn die Partikel auf die Oberfläche des isolierenden Materials aufgetragen werden. Spätestens während des Zusammenpressens des Scheibenstapels dringen die Partikel in das dann flüssige, plastische oder pulverförmige nichtleitende Material ein und machen es leitend.
- b.) In nichtleitendes Material werden längliche leitende Partikel eingebettet. Die Konzentration der leitenden Partikel ist so gering, daß bei statistischer Richtungsverteilung der langen Achsen der Partikel noch keine wesentliche Leitfähigkeit vorhanden ist. Wenn das nichtleitende Material flüssig, plastisch oder pulverförmig ist, wird lokal senkrecht zu den großen Scheibenebenen ein magnetisches oder elektrisches Feld angelegt, welches die großen Achsen der Partikel ausrichtet, so daß sich dort viele Partikel berühren. Die Leitfähigkeit wird entsprechend erhöht. Anschließend wird das isolierende Material verfestigt.
- c.) Es wird leitendes photoempfindliches oder strahlungsempfindliches Material (z.B. mit leitenden Partikeln gefüllter Fotolack) auf die Scheibe 1 aufgetragen. An den Stellen an denen keine Kontaktierung erfolgen soll bzw. wo eine Unterbrechung erforderlich ist, wird das photoempfindliche bzw. strahlungsempfindliche

Material in bekannter Weise entfernt. Die lokale Bestrahlung kann mit Partikel oder Photonen erfolgen.

d.) Ein leitendes kontaktierendes Material, das auf die Scheiben 1 aufgebracht wird, wird lokal selektiv entfernt. Zum Entfernen des Materials sind mechanische Verfahren (z.B. Fräsen, Sägen, Schleifen, Sandstrahlen), chemische Verfahren oder Ionenstrahlätzen (Sputtern) brauchbar. Die nicht zu entfernenden Stellen werden gegebenenfalls maskiert.

e.) Die Leitfähigkeit eines nichtleitenden Materials wird lokal irreversibel durch elektrische Durchschläge oder Entladungen oder durch Erhitzen (z.B. mit Laserstrahlen) erhöht.

f.) Es werden lokal chemische Prozesse ausgelöst deren Reaktionsprodukt ein leitendes Material ist. Die chemische Reaktion kann durch Strahlung, Wärme, elektrischen Strom oder lokales Auftragen eines chemisch wirksamen Stoffes (z.B. einen Katalysator) ausgelöst werden. Beispiel: Ein Silbersalz (z.B. AgCl , AgBr) wird in den zusammenhängenden Poren eines elastischen Schaumstoffes angeordnet. An den Orten die beleuchtet werden fällt Silber aus und schlägt sich auf den Wänden der Poren nieder. Es bilden sich so leitende Kanäle im Schaumstoff.

Mit den Verfahren a.) bis f.) können auch die anhand der Fig. 3 beschriebenen Trägerschichten 8 hergestellt werden.

Die Fig. 4 zeigt eine Anordnung bei der die Kontakte 2 auf der Scheibe 1 erhöht angeordnet sind. Zwischen den Scheiben 1 ist eine Schicht 9 aus einem Material angeordnet dessen Leitfähigkeit an den Stellen steigt auf die ein mechanischer Druck ausgeübt wird. Ist der Druck ausreichend groß, dann kann erreicht werden, daß die Schicht 9 nach dem Zusammenpressen des Stapels mit den Scheiben 1 praktisch nur an den Stellen mit den Kontakten 1 leitet. Als Schicht 9 besonders geeignet sind mit leitenden Partikeln gefüllte elastische Schaumstoffe oder kautschukartige Stoffe.

In Abwandlung des Verfahrens nach Fig. 4 bieten erhöht auf der Scheibe 1 angeordnete Kontakte auch den Vorteil, daß sie relativ einfach selektiv an den Orten der Kontakte mit dem leitenden kontaktierendem Material (z.B. leitendem

Klebstoff) beschichtet werden können.

Die Fig. 5 zeigt eine Anordnung bei der in den Scheiben 1 durchgehende Löcher 10 angeordnet sind. Die Kontakte auf den Scheiben 1 sind innerhalb bzw. am Rande der Löcher 10 angeordnet. Nach dem Übereinanderstapeln der Scheiben 1 werden die Löcher 10 mit einem leitenden Material (Metall, leitender Kunststoff, leitendes Glas o. ä.) gefüllt. Die Anordnung nach Fig. 5 ist besonders für Betriebsspannungen und Signale geeignet, die einer größeren Anzahl von Scheiben parallel zugeführt werden.

Bei der Anordnung nach Fig. 6 erfolgt die Verbindung zwischen den Scheiben 1 entlang den Schmalseiten der Scheiben 1. Beim gezeichneten Beispiel sind zwischen den Scheiben 1 Isolierscheiben 11 (die fest mit den Scheiben 1 verbunden sein können) angeordnet. Die Leiterbahnen 12 werden z.B. durch schräges Bedampfen bzw. Bestäuben (Sputtern) mit Metall, in Richtung der Pfeile 13, hergestellt. An den Orten an denen die Leiterbahnen unterbrochen sein sollen, reicht die Isolierschicht 11 nicht bis zum Rand der Scheiben 1. Die dadurch entstehende Lücke 14 verhindert das Entstehen einer durchgehenden Leiterbahn 12. Anstatt die Isolierschichten 11 an den Unterbrechungsstellen der Leiterbahnen zurückzusetzen, können sie auch über den Rand der benachbarten Scheibe 1 überstehen, wie es am Ort 15 gezeigt ist. Weiterhin können auch durch vorstehende Scheiben 1 (am Ort 16) oder durch zurückgesetzte Scheiben 1 Unterbrechungen in den Leiterbahnen geschaffen werden.

Eine weitere Möglichkeit der Anordnung nach Fig. 1 die Scheiben 1 elektrisch miteinander zu verbinden besteht darin, die Kontakte stark aufzurauen. Wenn die Rauhtiefe (z.B. $10\mu\text{m}$) größer als die Unebenheit der Oberfläche der Scheiben 1 nach dem Zusammenpressen ist, dann kommt es zu einem elektrischen Kontakt zwischen den Kontakten benachbarter Scheiben 1; und zwar auch dann, wenn zwischen den Halbleiterscheiben eine dünne Schicht aus einem nichtleitendem Material (z.B. Klebstoff) angeordnet ist. Dabei ist es aber meistens notwendig, daß die Schicht aus nichtleitendem Material während des erstmaligen Zusammenpressens des Scheibenstapels flüssig, plastisch oder pulverförmig ist. Statt die Kontakte aufzurauen können auch Whiskers, Dendriten oder Fasern aus leitenden Material auf bzw. zwischen den Kontakten angeordnet werden.

Wenn bei der Anordnung nach Fig. 1 die Schicht 3 ein isolierendes Material, insbesondere ein isolierender Klebstoff ist, kann die Kontaktierung auch ohne Aufrauung (oder ähnlichem) der Kontakte 2 erfolgen, wenn der Abstand zwischen den Kontakten 2 eines Leitungsweges kleiner als etwa 5nm ($< 10\text{nm}$) ist. In diesem Fall tunneln die Ladungsträger durch die isolierende Schicht 3. Um zwischen allen zu kontaktierenden Kontakten 2 so kleine Abstände zu realisieren, wird z.B. die Scheibe 1 (z.B. Halbleiterscheibe) sehr dünn ($< 10\mu\text{m}$) gemacht. Bei so kleinen Scheibendicken ist auch sprödes Material biegsam. Während der Montage des Scheibenstapels drückt an jeder Kontaktstelle eine Spitze mit großem Druck auf die Scheibe 1 bis die isolierende Schicht 3 ausgehärtet ist. Die Kontakte 2 brauchen keine Metallkontakte sein, sondern können z.B. als dotiertes Halbleitermaterial realisiert sein.

Bei einem anderen Verfahren zur Kontaktierung der Scheiben 1 wird zwischen den Scheiben 1 eine Zwischenschicht aus nichtleitendem oder halbleitendem Material (z.B. ein organischer Halbleiter) angeordnet. Vor dem Zusammenfügen der einzelnen Scheiben 1 zu einem Stapel wird auf oder unter oder in die Kontakte ein Material (z.B. Dotierungsstoff) aufgebracht, daß während bzw. nach dem Zusammenfügen der Scheiben zu einem Stapel in die Zwischenschicht eindringt bzw. mit der Zwischenschicht chemisch reagiert und damit leitend macht. Zur Unterstützung des Eindringens in bzw. der chemischen Reaktion mit der Zwischenschicht wird zweckmäßig der Scheibenstapel erwärmt.

Statt über galvanische Verbindungen können die Signale auch über kapazitive oder induktive Kopplungen auf die benachbarten Scheiben mit integrierten Schaltungen übertragen werden. Hierzu sind bei der kapazitiven Kopplung auf jeder der zu verkoppelnden Scheiben an jedem Koppelpunkt je eine leitende Koppelfläche (z.B. mit einem Durchmesser von $30\mu\text{m}$) so angeordnet, daß bei gegebenem Scheibenabstand die Kapazität möglichst groß wird. Das ist dann der Fall, wenn die beiden Flächennormalen der beiden leitenden Koppelflächen die durch den jeweiligen Flächenschwerpunkt gehen auf einer Geraden liegen. Die Dicke der isolierenden Zwischenschicht zwischen den beiden Koppelflächen eines Koppelpunktes sollte möglichst kleiner als der Durchmesser der Koppelfläche sein (z.B. $10\mu\text{m}$). Die isolierende Zwischenschicht wird zweckmäßig aus einem Material mit großer Dielektrizitätskonstante, insbesondere einem ferroelektrischen Material hergestellt. Bei der induktiven Kopplung werden an jedem Koppelpunkt auf jeder der

zu verkoppelnden Scheiben je eine Koppelschleife (ein oder mehrere Windungen) so angeordnet, daß bei gegebenem Abstand der Scheiben die Gegeninduktivität möglichst groß ist. Das ist der Fall, wenn die beiden Flächennormalen der beiden Koppelschleifen, die durch den jeweiligen Schwerpunkt der beiden Koppelschleifen gehen, auf einer Geraden liegen. Der Abstand zwischen den beiden Koppelschleifen eines Koppelpunktes sollte möglichst kleiner als der Durchmesser der Koppelschleifen sein (z.B. $30\text{ }\mu\text{m}$). Der Durchmesser einer Koppelschleife beträgt z.B. $100\text{ }\mu\text{m}$. Bei dünnen zu verkoppelnden Scheiben kann die induktive Kopplung auch durch die Nachbarscheibe hindurch auf die z.B. übernächste Scheibe erfolgen.

Wegen der kleinen Abstände zwischen den Scheiben mit den integrierten Schaltungen sind mit der kapazitiven und induktiven Kopplung überraschend große Kopplungsfaktoren realisierbar, so daß eine galvanische Kopplung überflüssig wird. Die Vorteile der kapazitiven und induktiven Kopplung im Vergleich zur galvanischen Kopplung bei dreidimensionalen integrierten Schaltungen sind ihre große Betriebszuverlässigkeit und die Einfachheit ihrer Herstellung, weil keine zusätzlichen Kontaktmaterialien erforderlich sind. Besonders bei der induktiven Kopplung wird jedoch in der Regel auf der Empfängerseite des Koppelpunktes ein Impulsformer erforderlich sein, der die kurzen während der Impulsflanke des Sendeimpulses übertragenen Impulse in länger andauernde Signale umwandelt.

Bei einigen Halbleitern, insbesondere bei GaAs, kann die Signalübertragung zwischen benachbarten Scheiben mit integrierten Schaltungen durch einen optischen Koppelpunkt erfolgen. Auf der einen Halbleiterscheibe ist ein optisch strahlendes Bauelement (z.B. eine Lumineszenzdiode) angeordnet und auf der anderen zum Koppelpunkt gehörenden Halbleiterscheibe ist in möglichst geringem Abstand von dem optisch strahlendem Bauelement ein Photodetektor (z.B. eine Photodiode) angeordnet. Um einen guten Übertragungswirkungsgrad zu erhalten, erfolgt die Übertragung der Signale vorteilhaft nur während der Änderung eines Signalzustandes, dh. zur Zeit der Impulsflanken.

Für alle dreidimensional integrierten Schaltungen, insbesondere für solche mit nichtgalvanischer Signalkopplung zwischen Halbleiterscheiben gilt, daß die Energieversorgung der einzelnen Scheiben mit den integrierten Schaltungen außer durch galvanische Kopplung auch dadurch erfolgen kann, daß der gesamte Scheibenstapel mit optischer Strahlung durchstrahlt wird. Die Energie der dadurch freigesetzten Elektronen bzw. Löcher wird dann für die Versorgung der aktiven

Bauelemente verwendet. Dabei ist es vorteilhaft, wenn die Wellenlänge der optischen Strahlung ungefähr gleich der Wellenlänge der Absorptionskante des Halbleitermaterials ist. In diesem Fall gelingt es viele Halbleiterscheiben zu durchstrahlen und trotzdem eine ausreichende Energiewandlung in den einzelnen Halbleiterscheiben zu erreichen.

Mit relativ großen Koppelschleifen, die z.B. nahezu so groß sind wie die Fläche der zu versorgenden Scheibe mit den integrierten Bauelementen, oder mit großen kapazitiven Elektroden, können die einzelnen Scheiben auch mit hochfrequenter Energie versorgt werden. Die auf die einzelnen Scheiben übertragene Energie kann gleichgerichtet werden, es können aber auch Schaltungen angewendet werden, die unmittelbar mit hochfrequenter Energie arbeiten.

Die kontaktierende Verbindung zwischen den Scheiben 1 kann auch über epitaktisches Zusammenwachsen der Scheiben erfolgen. Heteroepitaxie ist insbesondere bei den in Fig. 1 gezeigten Verfahren sinnvoll, wenn z.B. die Scheiben 1 Halbleiterscheiben sind und das Material der Schichten 3 ein vom Material der Scheiben 1 abweichendes Halbleitermaterial ist. Nachfolgend werden Verfahren gezeigt, bei denen die Scheiben auch homoepitaktisch zusammenwachsen. Es bildet sich also ein - von den Dotierung abgesehen - Block aus homogenem Material. Das homoepitaktische Zusammenwachsen ist von besonderer Bedeutung, wenn die Scheiben 1 Halbleiterscheiben sind. Nachfolgend einige Herstellungsbeispiele:

- a.) Die Scheiben 1 werden im Gasepitaxiereaktor mittels Distanzstücke im Abstand von einigen Mikrometern gehalten. Ein Temperaturgradient parallel zu den Scheibenoberflächen bewirkt, daß das epitaktische Wachstum in der Scheibenmitte oder an einer Scheibenseite am größten ist und entlang des Temperaturgradienten kontinuierlich abfällt. Die Scheiben wachsen also zuerst in der Mitte bzw. an einer Seite zusammen. Durch diese Maßnahme wird erreicht, daß keine Gebiete beim Zusammenwachsen von der Gasversorgung abgeschnitten werden.
- b.) Die Scheiben werden schräg angeschliffen aber so unter Einhaltung eines kleinen Luftspaltes gestapelt, daß die Kristallachse der Scheiben 1 parallel liegen. Das Abschnüren von der Gasversorgung während des epitaktischen Wachstums wird hier durch den Schrägschliff vermieden.

c.) Bei Verbindungshalbleitern (z.B. GaAs) wird auf die eine Scheibe 1 ein Überschuß der einen Komponente (z.B. Ga) und auf die epitaktisch zu verbindende Seite der Nachbarscheibe 1 ein Überschuß der anderen Komponente (z.B. As) aufgebracht. Dann werden die Scheiben zusammengepreßt und erhitzt.

d.) Zwischen die Scheiben wird ein Lösungsmittel gebracht und anschließend wird der Scheibenstapel zusammengepreßt. Dieses Verfahren ist insbesondere bei organischen Halbleitern anwendbar.

e.) Die einkristalline Oberflächenschicht der Scheiben 1 wird (z.B. durch Beschuß mit Wasserstoffionen) amorph gemacht. Dann wird der Scheibenstapel unter Hitzeanwendung zusammengepreßt.

Für die Verfahren c bis e ist es vorteilhaft, wenn die Scheiben 1 sehr dünn (z.B. 5 μ m) und damit biegsam sind und/oder wenn nicht die gesamte Scheibenfläche epitaktisch verbunden wird sondern nur der Kontaktbereich. Letzteres kann dadurch realisiert werden, daß die Kontaktstellen Erhebungen auf den Scheiben sind oder wenn die Scheibe abseits der Kontaktbereiche mit einer Schicht abgedeckt ist, auf der das epitaktische Wachstum langsamer als auf der Scheibe im Kontaktbereich ist.

Insbesondere wenn eine epitaktische Verbindung zwischen den Scheiben 1 nur bei den Kontakten vorhanden ist, dann kann bereits während des epitaktischen Zusammenwachsens ein Dotierungsstoff in die Epitaxiezone eingebaut werden, um so eine ausreichende Leitfähigkeit der epitaktischen Kontaktierung zu erreichen. Besonders wenn eine über die gesamte Scheibenfläche zusammenhängende hochohmige epitaktische Verbindung geschaffen wird, kann die Leitfähigkeit der Epitaxieschicht an den Kontaktpunkten durch Ausdiffusion von Dotierungsstoff aus den Kontaktbereichen der Scheiben 1 erhöht werden. Hierzu wird ein Überschuß an Dotierungsstoff im Kontaktbereich deponiert. Es kann aber auch eine ausreichend niederohmige Epitaxieschicht 3 durch Ausdiffusion an Stellen an denen keine Kontakte sind im Leitungstyp umgekehrt werden (aus einer N-Dotierung wird z.B. eine P-Dotierung) und damit die unerwünschten Leitungswege in der Epitaxie der sonstigen Halbleiterschicht 3 durch Isolierdiffusionszonen unterbrochen werden.

Insbesondere zwischen epitaktisch zusammengewachsenen Halbleiterscheiben kann die Verbindung zwischen den Scheiben 1 auch durch Injektion von Ladungsträgern

erfolgen (Fig. 7). In die N-dotierten Halbleiterscheiben 1 ist eine P⁺-dotierte Zone 17 und N⁺-dotierte Zone 18 angeordnet. Die Zone 18 ist durch die P-dotierte Zone 19 vom Halbleitersubstrat isoliert. Die Zonen 17 und 18 sind über nicht-gezeichnete Leitungen mit den zu verbindenden Punkten der Schaltung verbunden. Wird an die Zone 17 eine positive Spannung relativ zur Zone 18 gelegt, dann werden von der Zone 18 Elektronen und von der Zone 17 Löcher in die schwachleitende Zwischenschicht 3 injiziert. Dadurch wird die Zone 3 an den Kontaktstellen niederohmig und es können Signale oder Betriebsspannungen über die Kontaktstrecke übertragen werden. Die Zone 19 braucht nicht kontaktiert zu werden. Insbesondere für die Übertragung der Betriebsspannung kann die Isolationszone 19 auch entfallen. Weiterhin ist es möglich solche Injektionskontakte 17, 18 auf isolierenden Scheiben 1 anzuordnen. Statt dessen kann die Kontaktierung auch durch eine als bipolarer Transistor wirkende Anordnung erfolgen. Der Emitter und die Basis dieses Transistors ist auf der einen Scheibe 1 angeordnet, der Kollektor auf der, durch die Epitaxieschicht getrennten, benachbarten Scheibe 1. Die schwache Dotierung der Epitaxieschicht ist vorzugsweise so gewählt, daß sie als Kollektorzone wirkt. Möglich, aber wegen der größeren Ladungsträgerlaufzeiten nicht so günstig, ist es die Zwischenzone 3 als Basis zu betreiben.

Insbesondere bei epitaktisch zusammengewachsenen Halbleiterschichten kann weiterhin der Signalweg durch elektrische Spannungen festgelegt werden. In Fig. 8 ist die epitaktische zur Kontaktierung dienende Schicht 3 gerade so leitfähig, daß eine elektrische Verbindung zwischen den Kontakten 2, die z.B. als hochdotierte Zone realisiert ist, vorhanden ist. Damit aber keine unerwünschte Verbindung zwischen verschiedenen Kontaktstellen zustande kommt, wird der Stromfluß parallel zur Ebene der Schicht 3 durch ein die Ladungsträger abstoßendes Feld abgeschnürt. Hierzu wird an die P-dotierten Halbleiterscheiben 1 in Fig. 8 eine negative Spannung relativ zu den Spannungen an den Kontakten 2 gelegt. Die Epitaxieschicht 3 ist N-dotiert. Die Spannung ist so groß, daß sich die Raumladungszone von der einen Scheibe 1 bis zur anderen Scheibe 1 ausdehnt. Hierdurch wird der Stromfluß, außerhalb der Kontaktbereiche 2, entlang der Epitaxieschicht 3 unterbrochen. Die Anordnung nach Fig. 8 ist besonders einfach. Statt dieser Anordnung kann aber das Abschnüren des Stromflusses auch mit isolierten Halbleiterscheiben oder mit zusätzlichen Abschnürelektroden, in Form von PN-Übergängen, Schottky-Kontakten oder isolierten Elektroden, erfolgen. Die Kontakte 2 in Fig. 8 liegen in einer Isolierwanne 20; sie können aber, wenn sie z.B. als N-dotierte Zone ausgebildet sind, auch direkt im P-dotiertem Halbleitersubstrat angeordnet sein.

Statt die beweglichen Ladungsträger bei der Anordnung nach Fig. 8 aus der Epitaxieschicht in den Gebieten außerhalb der Kontaktbereiche zu entfernen, kann man auch die beweglichen Ladungsträger in den Kontaktgebieten mittels elektrischer Felder anreichern. Hierzu sind in Fig. 8 die Scheiben 1 wieder P-dotiert, die Epitaxieschicht aber undotiert (I-Zone) oder schwach P-dotiert. Die Kontakte sind relativ zu den anderen Zonen positiv vorgespannt. Dadurch sammeln sich Elektronen in den Gebieten zwischen den Kontakten 2 an, dh. die Epitaxieschicht zwischen den Kontakten 2 wird im Leitfähigkeitstyp invertiert. Durch die Anreicherung mit Elektronen wird das Gebiet so niederohmig, daß die gewünschte Kontaktierung zwischen den übereinanderangeordneten Kontakten 2 zustande kommt. Auch hier kann gegebenenfalls die Anreicherungszone mit größerem Aufwand durch Hilfselektroden hergestellt werden.

Alle oben beschriebenen Halbleiteranordnungen können durch die entsprechenden komplementären Anordnungen ersetzt werden.

Es gibt Materialien, insbesondere Kunststoffe, die bei Bestrahlung mit optischer Strahlung oder anderen energiereichen Strahlen, ihre mechanischen Abmessungen verändern. Die Scheiben 1 werden bei einem weiteren Verfahren mit leitendem Kunststoff dieser Art in Form von vielen Flecken beschichtet und räumlich selektiv so bestrahlt, daß an den Kontaktstellen der leitende Kunststoff dicker ist als an den Orten an denen kein Kontakt hergestellt werden soll. Nach dem Stapeln und Zusammenpressen der Scheiben erfolgt dann die Kontaktierung an den Stellen, an denen der leitende Kunststoff dicker ist.

25.

Fig. 1

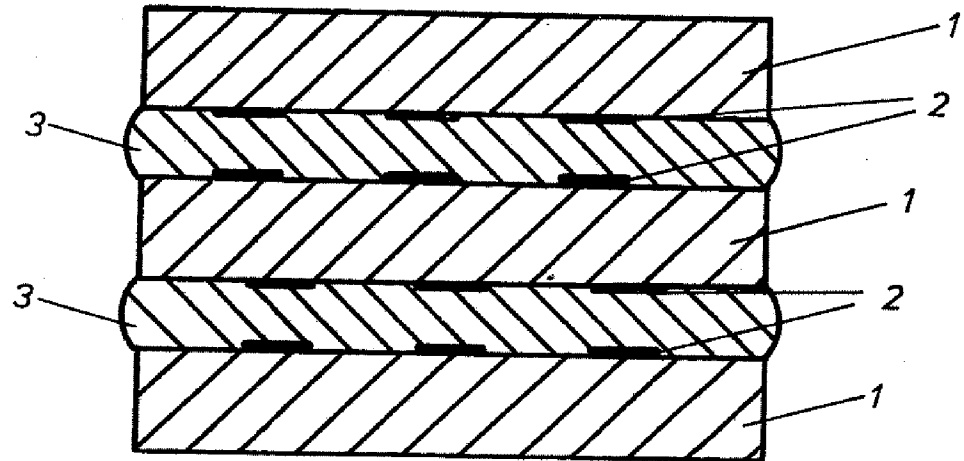
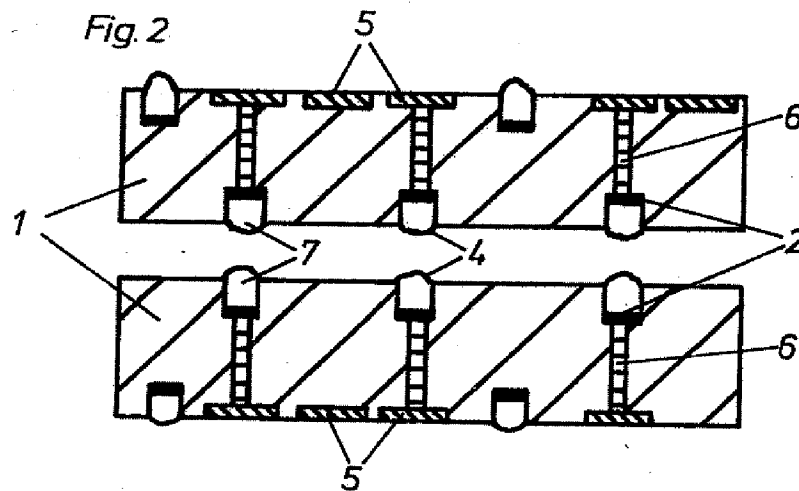


Fig. 2



22

Fig. 3

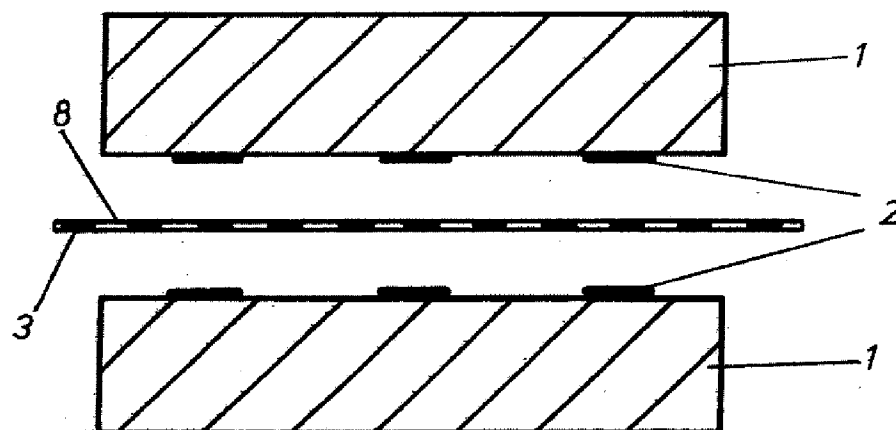
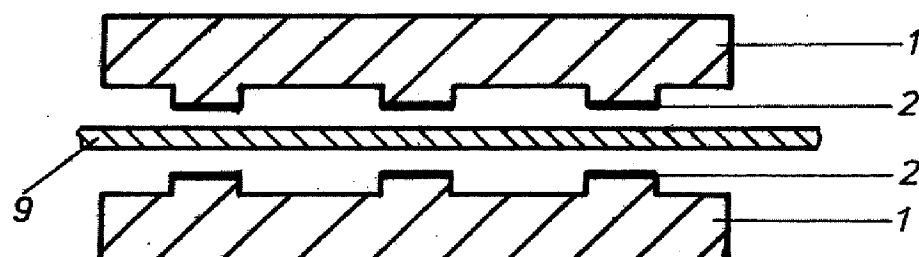


Fig. 4



23

Fig. 5

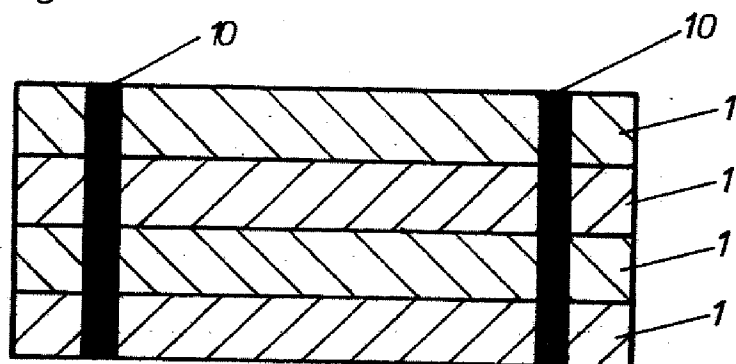


Fig. 6

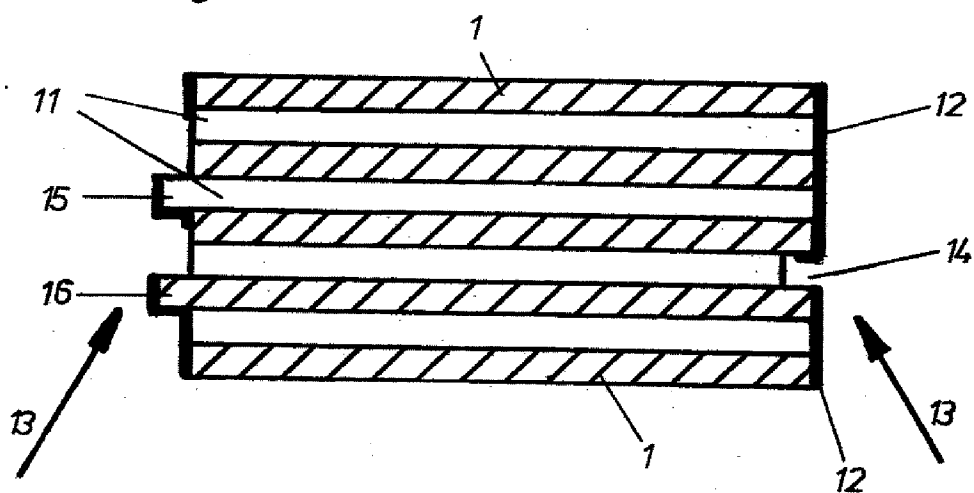


Fig. 7

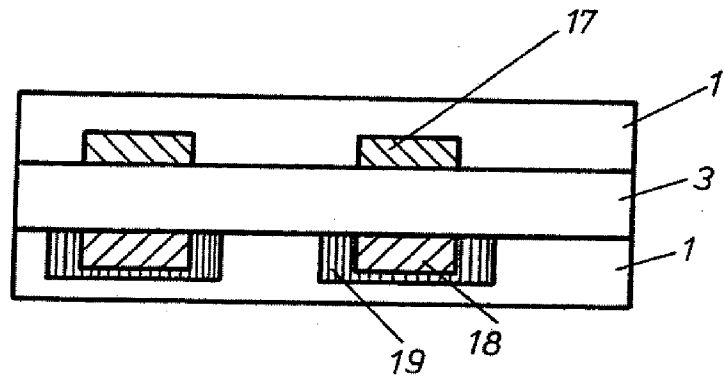


Fig. 8

